



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Effets longue-durée de différentes densités de *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst sur le stockage et la dynamique du carbone et de l'eau dans un Plinthosol épipétrique en zone nord-soudanienne du Burkina Faso

Moussa GNISSIE^{1*}, Kalifa COULIBALY¹, Moussa BARRO¹, Jean-Marie DOUZET², Laurent CURNAC³, Harun CICEK⁴ et Hassan B. NACRO¹

¹ Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du Sol, Université Nazi Boni, Burkina Faso.

² UPR AIDA, CIRAD, Ouagadougou, Burkina Faso.

³ Université de Montpellier, IRD, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier France.

Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frankfurt am Main, Germany and Frick, Switzerland.

* Auteur correspondant ; E-mail: moussa.gnissien@yahoo.fr.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Union Européenne qui, dans le cadre de son programme Horizon 2020 a financé la réalisation des travaux de cette étude. Cette publication n'engage cependant que ses auteurs et l'Union européenne ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Received: 13-12-2022

Accepted: 21-03-2023

Published: 30-04-2023

RESUME

L'agroforesterie demeure l'une des stratégies d'amélioration de la fertilité des sols les plus accessibles aux producteurs des pays sahéliens. L'objectif de nos travaux était de déterminer les effets de densités de *Piliostigma reticulatum* suivant deux types de travail du sol sur le statut et la dynamique du carbone organique et de l'eau du sol en zone nord-soudanienne du Burkina Faso. Le dispositif expérimental est constitué de blocs de Fisher à deux facteurs (travail du sol et densité d'arbustes) comprenant huit traitements et quatre répétitions. Sur la profondeur 0-10 cm, le stock de carbone augmentait de 20,45% et 26,29% respectivement pour les densités de 1000 et 2000 pieds / ha comparativement à celle de 0 pieds / ha en zaï ; et de 38,59% et 57,34% pour la densité de 2000 pieds / ha respectivement en système de culture (SC) et en mise en défends comparativement à celle de 500 pieds / ha en semis direct (SD). Sur la même profondeur, la réserve utile en eau du sol a été plus élevée avec 2000 pieds / ha ($13,05 \pm 0,66$ mm) en zaï, et avec 500 pieds / ha ($11,05 \pm 1,13$ mm) en SD. Le rapport carbone labile sur carbone organique est plus faible sur la couche 0-10 cm (9% à 12%) que sur 20-30 cm (49% à 72%) en présence d'arbustes. La vitesse d'infiltration augmentait de 54,20% et 31% respectivement pour les densités de 1000 et 2000 pieds / ha comparativement à celle de 0 pieds / ha en zaï ; et de 140,32 et 232,23% respectivement pour la densité de 2000 pieds / ha sous SC et sous jachère comparativement à la densité de 500 pieds / ha en SD. Globalement, les densités de 1000 et 2000 pieds / ha améliorent le plus le stockage du carbone, de l'eau et la perméabilité du sol. Le zaï et le SD bien qu'ayant des effets similaires sur le stockage des deux pools de carbone, se distinguent par le fait que le zaï semble plus améliorer le stockage de l'eau alors que le SD améliore plus la perméabilité du sol.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Fertilité des sols, travail du sol, densité d'arbustes, carbone, eau, Burkina Faso.

Long term effects of *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst' densities on carbon and water storage and dynamics of an epipetal Plinthosol in Burkina Faso's northern Sudanian area

ABSTRACT

Agroforestry remains one of the most accessible soil fertility improvement strategies for farmers in Sahelian countries. The objective of our work was to determine the effects of different planting densities of *Piliostigma reticulatum*, evolving on two tillages, on the status and dynamics of soil organic carbon and water in Burkina Faso's northern Sudanian. The experimental design is a two-factor Fisher block design (tillage and shrub density) with eight treatments and four replications. At a depth of 0-10 cm, carbon stock increased by 20.45% and 26.29% respectively for the 1000 and 2000 shrubs / ha compared to 0 shrubs / ha in zaï; and by 38.59% and 57.34% for the 2000 shrubs / ha respectively in cropping system (CS) and in fallow compared to the 500 shrubs / ha density in no-till (NT). Over the same depth, the useful soil water holding capacity was higher with 2000 shrubs / ha (13.05 ± 0.66 mm) in zaï, and with 500 shrubs / ha (11.05 ± 1.13 mm) in NT. The ratio of labile carbon to organic carbon was lower on the 0-10 cm layer (9% to 12%) than on the 20-30 cm layer (49% to 72%) in the presence of shrubs. Infiltration rate increased by 54.20% and 31% respectively for 1000 and 2000 shrubs / ha densities compared to 0 shrubs / ha in zaï; and by 140.32 and 232.23% respectively for 2000 shrubs / ha density under CS and fallow compared to 500 shrubs / ha density in NT. Overall, the densities of 1000 and 2000 shrubs / ha improve the most carbon storage, water storage and soil permeability. Zaï and NT, while having similar effects on the storage of both carbon pools, differ in that zaï seems to improve water storage more while NT improves soil permeability more.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Soil fertility, soil tillage, shrubs density, carbon, water, Burkina Faso.

INTRODUCTION

La dégradation des terres touche 5670 millions d'hectares (FAO, 2021). Une proportion de 41% de cette superficie est attribuée aux actions anthropiques (FAO, 2021). La même source précise que la dégradation anthropique touche principalement les sols agricoles et 20% de ces terres dégradées se trouvent en Afrique subsaharienne, faisant de cette partie du globe la plus affectée par ce type de dégradation. La dégradation des terres entraîne une baisse de la fertilité des sols se traduisant par des pertes importantes de matière organique et des nutriments du sol, une baisse de la capacité de rétention en eau du sol avec de faibles rendements des cultures (Biancalani et al., 2013). Vu son ampleur, plusieurs stratégies d'amélioration de la fertilité des sols ont été mises en œuvre. Ces stratégies dans leur majorité mettent l'accent sur deux éléments clés dans la gestion de la fertilité des sols : le

carbone et l'eau du sol. Le carbone organique du sol (COS) assure plusieurs fonctions. Sa présence améliore la stabilité structurale du sol à travers une augmentation de la porosité et de la perméabilité du sol, ce qui augmente la capacité de rétention en eau du sol et permet ainsi de rendre le sol plus résistant à l'érosion hydrique et à la sécheresse (Roose et Barthes, 2001 ; Clara et al., 2017). Il influence également la rétention et le cycle des nutriments dans le sol (Lucas et Weil, 2012). Le carbone labile qui représente la fraction facilement dégradable du carbone et encore appelé *Permanganate Oxidizable Carbon* (POxC) d'après Culman et al. (2012), constitue une importante source alimentaire pour les microorganismes du sol (Weil et al., 2003). Il est très sensible aux pratiques culturales et constitue un des indicateurs les plus fiables pour évaluer les effets à court et à long termes des pratiques de gestion des sols sur la qualité des sols (Milles et Brown, 2011 ; Awale et al.,

2013). En plus du carbone, l'eau stockée dans le sol jouent plusieurs rôles. Elle assure la production primaire des végétaux et stimule l'activité des microorganismes du sol (FAO et ITPS, 2015). Dans les stratégies d'amélioration de la fertilité des sols, figurent, la pratique de l'agroforesterie, les techniques de conservation des eaux et des sols / défense et restauration des sols (CES / DRS), l'insertion des légumineuses de couverture, etc. (Bonkougou et al., 2002 ; Zougmore et al., 2014). L'agroforesterie demeure la stratégie la plus répandue en Afrique Subsaharienne où les systèmes de cultures sont dominés par des parcs agroforestiers plurispécifiques comprenant des parcs arborés et des parcs arbustifs (Boffa, 2000 ; Bonkougou et al., 2002). Les parcs arbustifs sont dominés principalement par deux espèces que sont *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst. et *Guiera senegalensis* J.F. Gmel à différents niveaux densités de peuplement (Dossa et al., 2010 ; Yélé mou et al., 2012). Ces arbustes sont recépés ou émondés à chaque début de campagne hivernale et leur biomasse est appliquée sous forme de paillage ou par enfouissement dans le sol (Bationo et al., 2012 ; Barthès et al., 2015 ; Bright et al., 2017). Les travaux réalisés sur *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst. rapportent, dans la majeure partie des cas, que cette espèce augmentent généralement les teneurs du carbone organique et améliorent les propriétés hydrodynamiques des sols (Kizito et al., 2007 ; Yélé mou et al., 2013 ; Bright et al., 2017 ; Bogie et al., 2018). Ces travaux comparent pour la plupart les valeurs des paramètres du sol sous houppier et hors houppier de l'arbuste. Cette façon d'évaluer la contribution des arbustes ne permet pas de faire une recommandation du nombre optimum d'arbustes qu'il faut à l'unité de surface pour améliorer les différentes propriétés du sol et augmenter les rendements des cultures en milieu paysan. La présente étude a donc été initiée pour déterminer les effets longue-durée de la densité de *Piliostigma reticulatum* (DC)

Hochst. et du mode de travail du sol sur le statut et la dynamique du carbone organique et de l'eau du sol.

MATERIELS ET METHODES

Zone d'étude

L'essai longue-durée a été implanté en août 2012 au sein de la station d'expérimentation *Crops-New-Systems* à Kamboinsé, sur un terrain prêté par l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement, en zone nord-soudanienne du Burkina Faso. Les coordonnées géographiques du site sont 12°28.031'N; 1°32.929'W (

Figure 1). Les données sur la pluviosité et la température ont été respectivement collectées sur un pluviomètre et un thermomètre à lecture directe installés depuis 2012 au sein de la station. La pluviosité moyenne annuelle des sept dernières années est d'environ 800 mm et la température moyenne annuelle est de 28,36 °C. La végétation de la zone est dominée par une végétation de types savane arbustive des espèces dominantes comme *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst., *Combretum micranthum* G. Don et *Diospyros mespiliformis* Hochst, (INERA, 1995). Le dispositif expérimental est implanté sur un Plinthosol épipétrique selon la WRB (2014). Ce sol se caractérise entre autres par une faible profondeur effective (30 cm) et une faible teneur en matière organique (moins de 10 g / kg de sol).

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental était constitué de blocs de Fisher complètement randomisés comprenant deux facteurs : le travail du sol (le facteur principal) et la densité des arbustes (facteur secondaire). Le travail du sol comprend deux modalités que sont le zaï et le semis direct. Les densités d'arbustes pour le zaï étaient de 0, 500, 1000 et 2000 pieds / ha. Le semis direct comportait les densités de 500 et 2000 pieds / ha. Chaque niveau de densité pour le zaï constituait un traitement, excepté le

niveau zéro qui en comportait deux (zaï avec restitution des résidus de récolte et sans restitution de résidus), soit un total de cinq traitements. Le semis direct comprenait trois traitements : 500, 2000 pieds / ha (système de culture) et 2000 pieds / ha en mise en défends. Chaque traitement était répété quatre fois, avec des dimensions de 13,6 m x 10 m par répétition. Le système de culture était l'association sorgho-niébé (*Sorghum bicolor* L-Vigna unguiculata (L.) Walp.), introduit depuis 2018, pour les différents traitements en zaï et en semis direct. Excepté la mise en défends, les arbustes des autres traitements étaient recépés à deux reprises en moyenne durant chaque campagne hivernale en mai et en août, et la biomasse est utilisée pour pailler le sol. Pour le système de culture, les résidus de récolte étaient restitués sur l'ensemble des traitements hormis le traitement zaï sans arbustes et sans restitution de résidus de récolte. Les engrais chimiques ont été apportés au sorgho aux doses respectives de 50 kg de NPK et 25 kg en 2013.

Analyses de laboratoire et l'essai d'infiltration *in situ*

Echantillonnage de sol et analyses de laboratoire

Les échantillons de sol ont été prélevés après la récolte, en novembre 2021 sur les profondeurs 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm. Dans chaque parcelle élémentaire, trois prélèvements ont été effectués par niveau de profondeur, et mélangés pour constituer un échantillon composite. Le carbone organique et le carbone labile ont été analysés au laboratoire d'études et de recherche sur la fertilité des sols (LERF) de l'Université Nazi Boni au Burkina Faso. Les humidités caractéristiques pF 2,5 et pF 4,2 ont été déterminées au Bureau National des Sols (BUNASOLS) au Burkina Faso. Le carbone organique a été déterminé par oxydation et par voie humide (Walkley et Black, 1934). Le carbone labile ou carbone oxydable par le permanganate de potassium (POxC) a été déterminé suivant le protocole de

Weil et al. (2003). La densité apparente des sols a été déterminée afin de pouvoir calculer le stock de carbone organique et de carbone labile. La même densité apparente a été utilisée dans le calcul de la Réserve utile en eau du sol. A cet effet, des carottes de sol ont été prélevées à l'aide de cylindres de 196,25 cm³ dans chaque parcelle élémentaire sur chaque profondeur à raison de deux points de prélèvements par parcelle élémentaire. Les échantillons de sol ont été séchés à l'étuve à 105 °C pendant 24 h. Après séchage, le poids de la fraction fine de sol a été déterminé à l'aide d'un tamis de 2 mm. Les stocks de carbone organique et de carbone labile ont été calculés selon la méthode d'Ayenekulu et al. (2011) à travers la formule suivante : $SOC (t. ha - 1) = \frac{C}{100} \times Da \times Z \times (1 - frag) \times 100$

Où Da= densité apparente du sol, C= teneur en carbone, Z= profondeur de prélèvement de sol, 1 - frag = fraction fine du sol.

La proportion du stock de carbone labile par rapport au stock de carbone organique a été calculée pour chaque traitement par niveau de profondeur à partir de la formule :

$$R \text{ Stock } C \text{ labile} = \frac{\text{Stock } C \text{ labile}}{\text{Stock } C \text{ organique}} \times 100$$

La Réserve utile en eau (RU) du sol a été déterminée par la méthode des chambres à pression (Richards, 1956). Pour cela, les potentiels hydriques pF 2,5 et pF 4,2 représentant respectivement l'humidité à la capacité au champ et l'humidité au point de flétrissement ont été déterminés. La RU a été calculée à partir de la formule : $RU (mm) = [(pF 2,5 - pF 4,2) \times Da \times Z] / 100$

Mesure de la vitesse d'infiltration *in situ*

La méthode Beerkan adaptée par Brauman et Thoumazeau (2020) a été employée pour l'essai d'infiltration. Dans chaque parcelle élémentaire, deux points de sondage ont été effectués. Pour chaque point de sondage, un cylindre en tube PVC de 20 cm de diamètre a été enfoncé à 3 cm dans le sol. Un volume d'eau fixe de 1 cm de hauteur (soit 310 ml) a été versé dans le cylindre sur la surface

du sol. Ce même volume a été versé tout au plus 10 fois pour un temps n'excédant pas 30 minutes. La vitesse d'infiltration d'eau pour chaque point de sondage a été ensuite calculé en mL / mn grâce à la courbe d'infiltration. Une moyenne de la vitesse d'infiltration des deux points de sondage a été enfin calculée pour représenter la vitesse d'infiltration de la parcelle élémentaire.

Analyses statistiques

Les données collectées ont été analysées avec le logiciel R dans sa version 4.1.3. Le test

de Shapiro-Wilk a été effectué pour vérifier la normalité des données des stocks de carbone organique et POxC, du rapport POxC / carbone organique, de la RU et de la vitesse d'infiltration de l'eau par niveau de profondeur. A la suite de ce test, l'analyse de variance a été effectuée au seuil de 5 % selon le test de Student Newman-Keuls (SNK) en utilisant le package *agricolae*. Une régression linéaire multiple a été également effectuée pour étudier les relations entre les quatre paramètres du sol pour l'ensemble des trois profondeurs (0-30 cm).

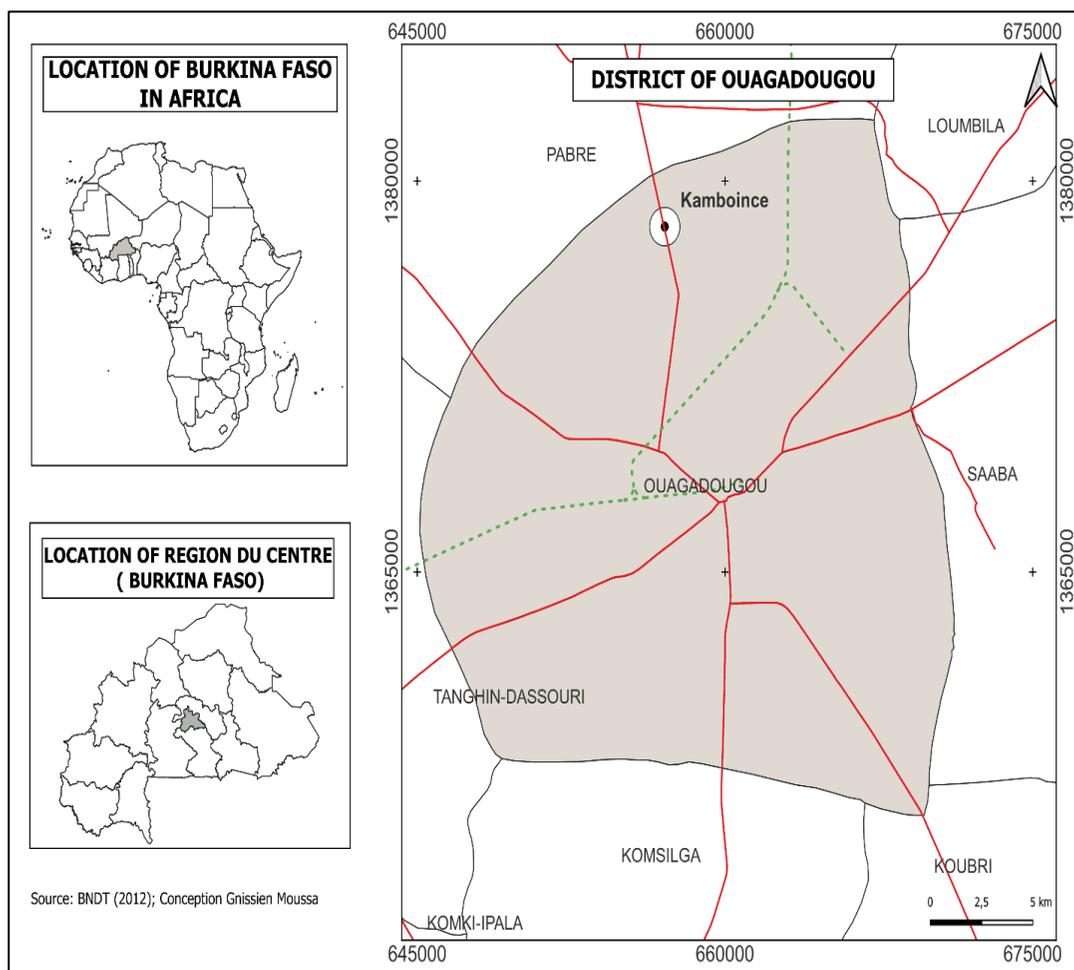


Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude.

RESULTATS

Effets des traitements sur le stock de carbone organique et la réserve utile en eau du sol

Les résultats sur le stock de carbone sont présentés dans la Figure 2. Sur la profondeur 0-10 cm, le stock de carbone organique du sol augmente avec la densité des arbustes aussi bien en zaï qu'en semis direct. Les valeurs sont plus élevées avec la densité de 2000 pieds / ha en zaï ($5,62 \pm 0,39$ t / ha) et avec la mise en défends ($5,79 \pm 0,76$ t / ha) en semis direct. Sur la profondeur 10-20 cm, le stock de carbone organique est similaire pour les différentes densités en zaï. Par contre, en semis direct, pour la même profondeur, le stock de carbone augmente suivant la densité d'arbustes avec un pic de $3,18 \pm 0,62$ t / ha observé au niveau de la mise en défends. Enfin, le stock de carbone est resté similaire quelle que soit la densité d'arbustes suivant les deux types de travail du sol pour la profondeur 20-30 cm. L'analyse de variance (ANOVA) a présenté des différences significatives entre les traitements pour le stock de carbone sur les profondeurs 0-10 cm ($P < 0,01$) et 10-20 cm ($P < 0,05$), mais pas sur la profondeur 20-30 cm ($P > 0,05$).

La réserve utile en eau du sol (RU) augmente avec la densité d'arbustes en zaï sur la profondeur 0-10 cm (Figure 3). Elle est significativement plus élevée pour les densités de 1000 pieds / ha ($12,66 \pm 0,29$ mm) et 2000 pieds / ha ($13,05 \pm 0,66$ mm) par rapport aux autres densités. En semis direct, la RU est restée similaire pour les densités de 500 pieds / ha ($11,05 \pm 1,13$ mm) et 2000 pieds / ha ($10,09 \pm 0,71$ mm) en système de culture, et plus élevée que celle de la mise en défends ($8,22 \pm 0,13$ mm). La RU est restée similaire pour les différentes densités aussi bien en zaï qu'en semis direct sur les profondeurs 10-20 cm et 20-30 cm. Elle a varié de $7,35 \pm 0,77$ mm à $12,27 \pm 1,58$ mm pour la profondeur 10-20 cm et de $8,75 \pm 1,03$ mm à $13,39 \pm 1,04$ mm pour la profondeur 20-30 cm. L'ANOVA a révélé

une différence significative de la RU sur la profondeur 0-10 cm uniquement ($P < 0,05$).

Effets des traitements sur le stock de carbone labile

La Figure 4 présente la variation du stock de carbone labile des différents traitements sur les profondeurs 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm. Sur la profondeur 0-10 cm, le stock de carbone labile diminue avec la densité des arbustes en zaï et reste similaire pour les différentes densités en semis direct. Le stock de POxC a été plus élevé en zaï sans arbustes et sans restitution de résidus de récolte ($0,89 \pm 0,10$ t / ha). En semis direct, il a été plus élevé avec la jachère ($0,45 \pm 0,02$ t / ha). Sur les profondeurs 10-20 cm et 20-30 cm, le stock de carbone a été plus élevé en zaï sans arbustes et sans restitution de résidus de récolte avec des valeurs respectives de $1,42 \pm 0,25$ t / ha et de $1,70 \pm 0,05$ t / ha et $1,70 \pm 0,18$ t / ha (sur 20-30 cm). Ces valeurs ont été plus élevées en semis direct au niveau de la mise en défends sur 10-20 cm ($1,80 \pm 0,29$ t / ha) et 20-30 cm ($1,70 \pm 0,18$ t / ha). L'ANOVA a révélé des différences significatives du stock de POxC entre les différents traitements sur les profondeurs 0-10 cm ($P < 0,001$), 10-20 cm ($P < 0,01$) et 20-30 cm ($P < 0,001$).

La proportion du stock de carbone labile par rapport à celui du carbone organique est présentée dans la Figure 5. Sur la profondeur 0-10 cm, la proportion du stock de carbone labile est plus élevée avec le traitement Z2-0 ($25,63 \pm 6,10\%$) pour le zaï et avec le traitement NT-500 ($14,66 \pm 2,01\%$) au niveau du semis direct ($P < 0,05$). Sur la profondeur 10-20 cm, le traitement Z1-0 enregistre la valeur la plus élevée ($62 \pm 8,34\%$) pour le zaï, alors que cette valeur est plus élevée chez le traitement NT2-2000 ($66,46 \pm 7,07\%$) en semis direct ($P > 0,05$). Sur la profondeur 20-30 cm, le traitement Z2-0 enregistre la proportion du stock de carbone la plus élevée ($71,93 \pm 4,43\%$) pour le zaï, et le traitement NT-500 présente la valeur la plus élevée ($67,16 \pm 11,09\%$) en semis direct ($P > 0,05$).

Effets des traitements sur la vitesse d'infiltration de l'eau du sol

La vitesse d'infiltration augmente en général avec la densité des arbustes (Figure 6). Le traitement Z-1000 enregistre la valeur la plus élevée ($66,29 \pm 4,35$ mL / mn) en zaï, alors qu'en semis direct, c'est le traitement NT2-2000 qui présente la valeur la plus élevée ($107,53 \pm 0,24$ mL / mn). L'ANOVA a présenté une différence significative de la vitesse d'infiltration de l'eau entre les traitements ($P < 0,001$).

Relation entre la réserve en eau utile, le stock de carbone organique, le stock de carbone labile et la vitesse d'infiltration de l'eau du sol

D'après le Tableau 1, la régression multiple indique une corrélation positive de la RU avec le stock de carbone organique. Par contre, la RU est négativement corrélée au stock de carbone labile et à la vitesse d'infiltration de l'eau du sol. La corrélation est significative entre la RU et le stock de carbone labile ($P = 0,0197$). Elle est non significative entre la RU et le carbone organique d'une part ($P = 0,7693$) et entre la RU et la vitesse d'infiltration de l'eau du sol d'autres parts ($P = 0,9492$). Globalement, le modèle indique qu'il n'y a pas de variation significative de la RU en fonction des trois autres paramètres ($P = 0,1201$).

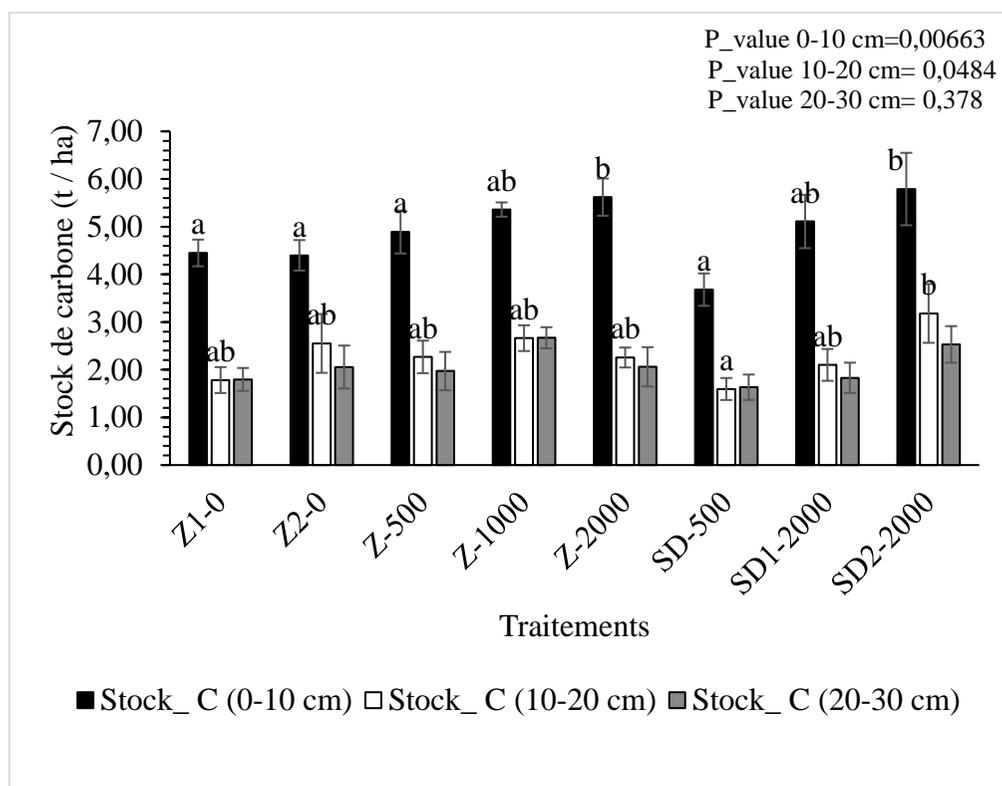


Figure 2: Variation du stock de carbone organique du sol en fonction des différents traitements sur les profondeurs 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm.

Légende : Z= zaï; SD= semis direct en culture; Z1= zaï avec restitution de résidus de récolte; Z2= zaï sans restitution de résidus de récolte; SD 1= semis direct en culture ; SD 2= mise en défends, les valeurs 0, 500, 1000 et 2000 correspondent au nombre de pieds / ha de *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst. Les barres d'erreurs désignent les erreurs standards au sein des traitements. Les valeurs portant les mêmes lettres pour la même couleur d'histogramme ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% selon le test de SNK.

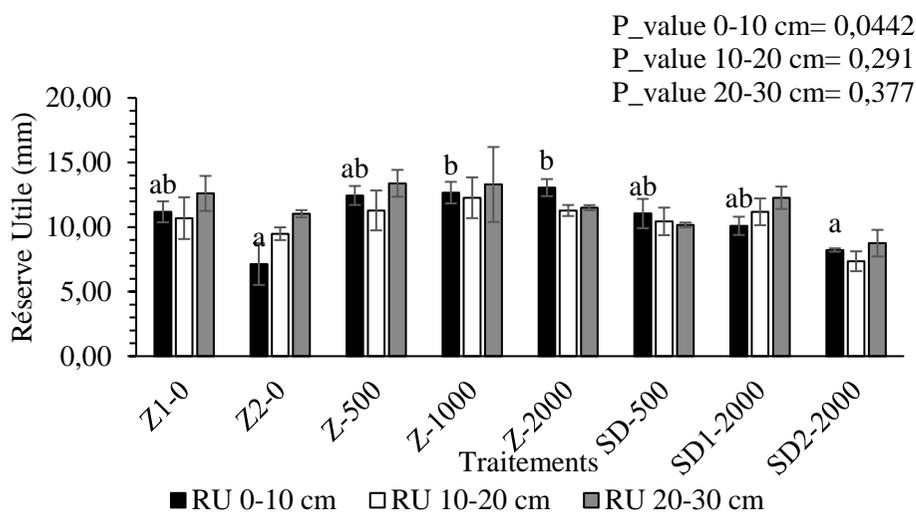


Figure 3: Variation de la réserve utile en eau du sol en fonction des traitements sur les profondeurs 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm.

Légende : Z= zaï; SD= semis direct en culture; Z1= zaï avec restitution de résidus de récolte; Z2= zaï sans restitution de résidus de récolte; SD 1= semis direct en culture ; SD 2= mise en défends, les valeurs 0, 500, 1000 et 2000 correspondent au nombre de pieds / ha de *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst. . Les barres d'erreurs désignent les erreurs standards au sein des traitements. Les valeurs portant les mêmes lettres pour la même couleur d'histogramme ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% selon le test de SNK.

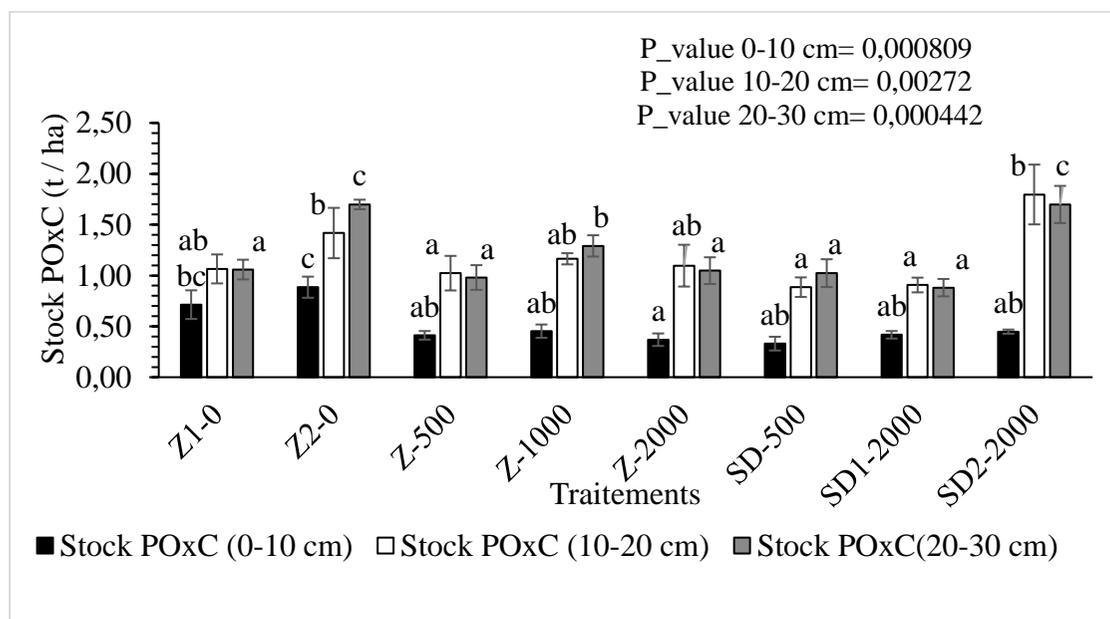


Figure 4: Variation du stock de carbone labile du sol en fonction des traitements sur les profondeurs 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm.

Légende : Z= zaï; SD= semis direct en culture; Z1= zaï avec restitution de résidus de récolte; Z2= zaï sans restitution de résidus de récolte; SD 1= semis direct en culture ; SD 2= mise en défends, les valeurs 0, 500, 1000 et 2000 correspondent au nombre de pieds / ha de *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst. . Les barres d'erreurs désignent les erreurs standards au sein des traitements. Les valeurs portant les mêmes lettres pour la même couleur d'histogramme ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% selon le test de SNK.

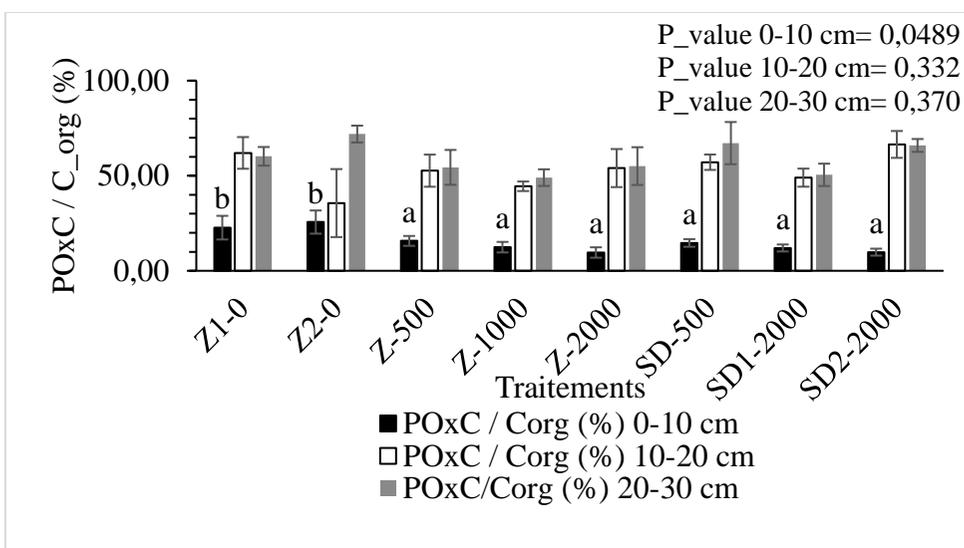


Figure 5: Variation de la proportion du stock de carbone labile du sol en fonction des traitements sur les profondeurs 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm.

Légende : Z= zaï; SD= semis direct en culture; Z1= zaï avec restitution de résidus de récolte; Z2= zaï sans restitution de résidus de récolte; SD 1= semis direct en culture ; SD 2= mise en défends, les valeurs 0, 500, 1000 et 2000 correspondent au nombre de pieds / ha de *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst.. Les barres d'erreurs désignent les erreurs standards au sein des traitements. Les valeurs portant les mêmes lettres pour la même couleur d'histogramme ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% selon le test de SNK.

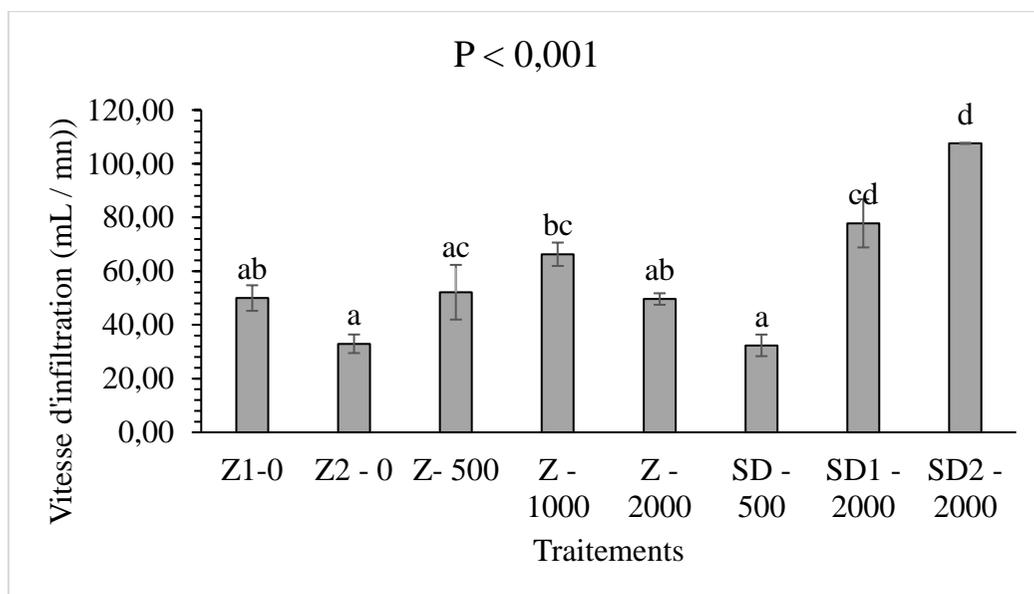


Figure 6: Variation de la vitesse d'infiltration de l'eau en fonction des différents traitements

Légende: Z= zaï; SD= semis direct; Z1= zaï avec restitution de résidus de récolte; Z2= zaï sans restitution de résidus de récolte; SD 1= semis direct en culture ; SD 2= mise en défends. . Les barres d'erreurs désignent les erreurs standards au sein des traitements. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% selon le test de SNK.

Tableau 1: Variation de la réserve en eau utile en fonction du stock de carbone organique, stock de carbone labile et de la vitesse d’infiltration de l’eau dans le sol.

	Estimate	Erreur standard	P_value	Signification
Intercept	12,51	1,89	0,000000511	THS
Stock C (t/ha)	0,11	0,37	0,7693	NS
Stock C_labile (t/ha)	-4,87	1,96	0,0197	HS
Vitesse d’infiltration (ml / mn)	-0,001	0,015750	0,9492	NS
	R²=0,105		P_value = 0,1201	NS

Légende : C : carbone ; THS : Très Hautement Significatif ; HS : Hautement Significatif ; NS : Non Significatif

DISCUSSION

Effets de *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst sur le stock de carbone et la réserve utile en eau du sol.

De manière générale, la présence des arbustes favorise une augmentation du stock de carbone du sol comparativement aux traitements sans arbustes sur les profondeurs 0-10 et 10-20 cm. En plus, ce stock augmente avec la densité aussi bien en zaï qu’en semis direct et l’augmentation est plus nette en semis direct. Cette augmentation pourrait être attribuée à une plus grande production de biomasse au niveau des densités d’arbustes les plus élevées. Nos résultats se rapprochent de ceux de Bright et al. (2017) qui ont enregistré une augmentation du stock de carbone de 66% avec une densité de 1000 pieds / ha de *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst comparativement à un traitement sans arbustes. Dayamba et al. (2015) ont également obtenu une augmentation du stock de carbone organique en fonction des densités croissantes de *Vitellaria paradoxa* Gaertn f. sur la profondeur 0-50 cm. *A contrario*, Koala et al. (2021) ont montré que le stock du carbone du sol diminuait de plus de 100% sur la profondeur 0-20 cm suivant les densités croissantes (109, 217 et 434 pieds / ha) de *Prosopis africana* (Guill., et Rich.) dans un parc agroforestier en zone nord-soudanienne du Burkina Faso. Nos résultats montrent une

baisse du stock de carbone organique comprise entre 42 et 60% pour l’ensemble des traitements de la profondeur 0-10 cm à celle de 10-20 cm. Cela pourrait s’expliquer par le fait du paillage et de l’activité de la macrofaune qui favorisent une accumulation du carbone sur l’horizon de surface du sol. L’apparition de la cuirasse ferrugineuse à 30 cm de profondeur pourrait également réduire l’accumulation du carbone en profondeur. Lufafa et al. (2008) ont enregistré une baisse du stock de carbone sur 20-40 cm comparativement à la profondeur 0-20 cm dans des systèmes agroforestiers de *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst et *Guiera senegalensis* J. F Gmel en zone nord-soudanienne du Sénégal. La même tendance a été signalée par Coulibaly et al. (2020) qui ont montré une accumulation du carbone sur la couche 0-10 cm par rapport aux autres couches dans des parcs à *Vitellaria paradoxa* Gaertn f. et à *Parkia biglobosa*. (Jacq) R. Br. Ex G. Don de différentes zones agroécologiques au Burkina Faso. Nos résultats contrastent cependant avec ceux de Koala et al. (2021) qui ont noté une augmentation du stock de carbone du sol de la profondeur 20-50 cm par rapport à celle de 0-20 cm sous différentes densités de *Prosopis africana* (Guill., et Rich.). Par ailleurs, De Blécourt et al. (2019) ont relevé lors de leurs travaux sur des essais longuedurée que les pratiques agricoles avec un faible niveau d’intrants engendrent une baisse

importante du stock de carbone du sol ; ce qui correspondrait aux cas du zaï sans arbustes et sans restitution de résidus de récolte et du semis direct à la densité de 500 arbustes / ha. Le zaï et le semis direct ont eu des effets similaires sur le stock de carbone du sol pour les mêmes densités d'arbustes.

Les densités de 1000 pieds / ha et 2000 pieds / ha en zaï et celles de 500 et 2000 pieds / ha en semis direct sous système de culture se présentent comme les densités optimales dans l'amélioration du statut hydrique du sol. Ceci pourrait s'expliquer par une production plus accrue de la matière organique qui, en se mélangeant aux particules de sol, offrirait une structure de sol plus favorable au stockage de l'eau comme l'ont souligné Koull et al. (2016) et Clara et al. (2017). Kizito et al. (2007), au Sénégal, ont montré que *Guiera senegalensis* J. F Gmel. et *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst. augmentaient la RU du sol d'un système arbustes-cultures par rapport à celui constitué des cultures uniquement. Bogie et al. (2018) et Bright et al. (2021) ont noté une amélioration de la teneur en eau du sol sous des densités respectives de 1833 pieds / ha et 1521 pieds / ha de *Guiera senegalensis* J. F Gmel. en zone nord-soudanienne du Sénégal. Guébré (2021) quant à lui a montré que le paillage à base de la biomasse aérienne de *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst. augmentait l'humidité du sol en comparaison à la non application du paillage en zone nord soudanienne du Burkina Faso. Par ailleurs, Saïdou et al. (2012) ont montré que l'humidité du sol augmentait avec des houppiers de diamètres croissants de *Vitellaria paradoxa* Gaertn f en zone soudanienne au Bénin. La diminution de la RU au niveau de la mise en défends pourrait être expliquée par une évapotranspiration plus importante en raison de la grande taille des arbustes comparativement aux traitements en système de cultures caractérisés par des individus régulièrement recépés. Abaker et al. (2018) notaient à cet effet que malgré une meilleure perméabilité du sol sous une plantation d'*Acacia senegal* (L.)

Willd., l'humidité sous celle-ci était inférieure à celle d'une prairie herbeuse à cause d'une plus grande évapotranspiration enregistrée dans la plantation. En général, le zaï augmente plus la RU comparativement au semis direct. La nature du zaï qui est une technologie de récupération des eaux de ruissellement (Zougmore et al., 2014) pourrait expliquer cette augmentation de la RU.

Effets des arbustes sur la dynamique du carbone et de l'eau dans le sol.

Sur la profondeur 0-10 cm, ce sont les traitements ne comportant pas d'arbustes qui enregistrent les stocks de POxC les plus élevées. Ces traitements stimuleraient plus l'activité microbienne du sol, mais présenteraient dans le même temps un risque d'épuisement plus rapide du carbone en surface car le carbone labile y représente plus de 20% du carbone organique. La présence de structures lignifiées dans la biomasse (appliquée comme paillis sous forme de bois raméal feuillé) au niveau des traitements comportant les arbustes pourrait expliquer les faibles valeurs du ratio carbone labile sur carbone organique sur la profondeur 0-10 cm. Les traitements comportant les arbustes, présenteraient ainsi un risque plus faible de perte rapide de la matière organique en surface et lui assureraient une meilleure conservation dans le sol. Liang et al. (2021) expliquent à cet effet que les faibles valeurs de rapport POxC / carbone organique pourraient traduire une décomposition plus lente de la matière organique. Les valeurs du rapport POxC sur carbone organique sur la profondeur 0-10 cm sont au-delà de celles obtenues par Weil et al. (2003) et Sharma et al. (2014) respectivement dans l'Etat de Maryland et en Himalaya. Les valeurs du rapport POxC / carbone organique trouvées par ces auteurs dans des champs sont inférieures à 3%. Ces Etats évoluent dans un climat subtropical humide avec une pluviosité de plus de 1000 mm (Sharma et al., 2014), ce qui pourrait expliquer que la proportion de

matière organique labile soit plus faible comparativement aux valeurs obtenues dans le contexte de notre étude. Nos résultats se rapprochent de ceux de Liang et al. (2021) ont révélé une variation du rapport POxC / carbone organique du sol compris entre 15 et 29% sur 0-10 cm sous trois espèces d'arbres dans la ville de Beijing en Chine sous un climat tempéré sec avec une pluviosité annuelle de 700 mm. En outre, le stock de POxC augmente avec la profondeur. Cette hausse est comprise entre 49 et 300%, soit 49 à 60% pour les traitements sans arbustes et de 117 à 300% en présence d'arbustes entre 0-10 cm et 10-20 cm. Entre 0-10 et 20-30 cm, le POxC varie de 48 % et 279 %, soit de 48 à 92% pour les traitements sans arbustes et de 111 à 279% en présence d'arbustes. Cette hausse du POxC pourrait s'expliquer par le fait que plus on va en profondeur, moins il y a de bois raméal feuillé. Elle pourrait aussi être liée à une décomposition plus importante de la matière organique dans les couches inférieures du sol. Les arbustes favoriseraient le développement d'une activité biologique *via* une plus grande minéralisation du carbone en profondeur. Cela peut être illustré à travers le rapport POxC / carbone organique qui représente 44 à 66% du carbone organique de ces traitements. Cette augmentation du POxC en profondeur est tout l'inverse du carbone organique qui diminue en profondeur. Nos résultats contrastent avec ceux de Wang et al. (2017) et Liang et al. (2021) qui soulignaient une baisse du POxC des profondeurs 10-20 et 20-30 cm par rapport à celle de 0-5 cm. Toutefois, l'augmentation du rapport POxC / carbone organique suivant la profondeur est en accord avec les résultats obtenus par Wang et al. (2017) dans une ferme de production fourragère dans l'Etat du Maryland aux Etats-Unis.

La vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol augmente globalement avec la densité d'arbustes aussi bien en zaï qu'en semis direct. Jachère. La production de matière organique plus importante en présence d'arbustes et une amélioration de la porosité du sol du fait des

racines, plus nombreuses créeraient une structure de sol plus favorable à la perméabilité du sol (Clara et al., 2017 ; Cai et al., 2021). La variation de la vitesse d'infiltration en zaï est similaire aux résultats de Guébré (2021) selon lesquels le paillage de la biomasse aérienne de *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst augmentait la vitesse d'infiltration de l'eau du sol de 35% par rapport au témoin sans paillage. La variation en semis direct est en deçà de celle enregistrée par Tobella et al. (2014) qui observaient une augmentation de la vitesse d'infiltration de 387,5% sous houppier de *Vitellaria paradoxa* Gaertn f. comparativement à la zone hors houppier dans un parc agroforestier en zone nord-soudanienne du Burkina Faso avec une densité de 20 pieds / ha. Cette différence pourrait s'expliquer par un système racinaire plus développé et une production de litière plus importante sous *Vitellaria paradoxa* Gaertn f. qui offrirait un environnement plus favorable à l'infiltration comparativement à *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst. Par contre, Bogie et al. (2018), au Sénégal, ont enregistré des baisses de 75% et 28% de la vitesse d'infiltration des parcelles à *Guiera senegalensis* J. F Gmel. et à *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst. comparativement aux parcelles sans arbustes. Les densités de 1000 pieds / ha et 2000 pieds / ha respectivement en zaï et en semis direct se présentent comme les densités optimales qui améliorent la perméabilité du sol. Le semis direct améliore plus la perméabilité du sol comparativement au zaï. Ceci pourrait être expliqué par le fait que les traitements semis direct soient à un état d'humidité moins élevé que ceux du zaï, d'où leur tendance à plus absorber l'eau suivant les lois de l'osmose.

Corrélation entre la réserve utile en eau du sol et les stocks de carbone organique, de carbone labile et la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol

Les résultats de la corrélation indiquent qu'une augmentation de la réserve utile en eau

du sol tend à se traduire par une augmentation du stock de carbone organique et une diminution de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol. Le carbone organique en se mélangeant aux particules de sol formerait un complexe absorbant qui pourrait améliorer la capacité du sol à stocker l'eau. Cela a été montré par Ankenbauer et Loheide (2016) qui ont souligné qu'une augmentation de la matière organique du sol garantissait un meilleur stockage de l'eau dans le sol. La tendance à la diminution de la vitesse d'infiltration s'expliquerait par une diminution du volume des vides dans le sol du fait de l'occupation des pores par l'eau. Nos résultats sont en accord avec ceux de Liu et al. (2019) selon lesquels l'augmentation de l'humidité du sol engendrait une baisse de l'infiltration de l'eau dans le sol. Nous notons en plus que l'augmentation de la réserve utile en eau du sol entraîne une baisse significative du stock de POxC du sol. Cette diminution pourrait se justifier par le fait qu'une humidité trop importante du sol conduirait à une réduction de l'activité microbienne du sol. Nos résultats sont en accord avec ceux de Das et al. (2018) qui stipulaient qu'une humidité plus élevée du sol rendait le carbone du sol moins minéralisable. Par contre, nos résultats diffèrent de ceux de Li et al. (2016) qui avaient enregistré une plus grande minéralisation du carbone avec un sol saturé à 70% de la capacité au champ par rapport au même sol saturé à 40% de la capacité au champ.

Conclusion

Les densités de 1000 pieds / ha et 2000 pieds / ha de *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst en zaï et celle de 2000 pieds / ha en semis direct améliore le plus le stockage du carbone dans le sol. Ces mêmes densités en zaï et celles de 500 et 2000 pieds / ha en semis direct sous système de culture se présentent comme les densités optimales dans l'amélioration du statut hydrique du sol. Le traitement zaï sans arbustes et sans restitution

de résidus de récolte et la mise en défends enregistrent les stocks de carbone labile les plus élevés. La vitesse d'infiltration de l'eau du sol est plus accrue avec la densité de 1000 pieds / ha en zaï et en mise en défends. Les résultats sur le stockage du carbone et de l'eau indiquent que le facteur densité des arbustes entraîne des variations contrastées de la réserve utile en eau du sol, tandis que le stock de carbone augmente avec la densité des arbustes. Le zaï et le semis direct ont des effets similaires sur le stockage de carbone pour les mêmes densités d'arbustes. Cependant, le zaï améliore plus la réserve utile en eau du sol par rapport au semis direct. En plus, nous enregistrons une diminution du stock de carbone organique avec la profondeur du sol, alors qu'une tendance à l'augmentation de la réserve utile est constatée. En présence d'arbustes, la vitesse d'infiltration et le POxC augmentent avec la densité. Le semis direct améliore plus la perméabilité du sol par rapport au zaï. Le semis direct et le zaï ont induit des effets similaires sur le POxC pour les mêmes densités d'arbustes en système de cultures. Le stock de POxC et le rapport POxC / COS augmentent avec la profondeur pour les deux modes de travail du sol en fonction des différentes densités d'arbustes, incluant la probabilité d'une plus grande activité microbienne dans les couches inférieures. Nos résultats impliquent que les pratiques culturales déterminent le statut et la dynamique du carbone et de l'eau dans le sol. Le rapport POxC / COS pourrait être un indicateur pertinent de la santé biologique des sols en zone nord-soudanienne à mesure que d'autres travaux sur d'autres types de sols tropicaux soient menés afin de pouvoir déterminer des valeurs optimums de ce rapport. De même, nos résultats posent la nécessité d'évaluer les effets des arbustes sur l'abondance et la diversité de la communauté microbienne du sol afin d'étudier la corrélation entre celle-ci et la dynamique du carbone et des autres nutriments du sol. Du reste, une densité d'arbustes de l'ordre de 1000 à 2000 pieds / ha pourrait être recommandée en vue d'une intensification du

fonctionnement biologique des sols et une meilleure atténuation des effets des changements climatiques.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflit d'intérêts pour ce manuscrit.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

MG: conduite des travaux de terrain, collecte de données, analyses statistiques des données et écriture du manuscrit dans le cadre de ses travaux de PhD. KC et NHB: encadrement, orientation de l'étude et correction du manuscrit. MB: conduite des travaux de terrain, collecte de données dans le cadre de son stage de fin de cycle d'ingénieur du développement rural / Option agronomie. J-MD: orientation de l'étude, conduite des travaux de terrain et correction du manuscrit. LC: encadrement et correction du manuscrit. HC: correction du manuscrit.

REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs remerciements au comité de thèse du doctorant pour le cadrage du travail et le suivi rigoureux des activités de la thèse. Les remerciements s'adressent à tous les chercheurs et stagiaires qui se sont succédés sur le site d'étude et dont les travaux ont contribué à pérenniser l'essai. Ils expriment également leur gratitude aux techniciens et ouvriers qui ont aidé, toutes ces années durant, à l'exécution des travaux de terrain.

REFERENCES

Abaker WE, Berninger F, Starr M. 2018. Changes in Soil Hydraulic Properties, Soil Moisture and Water Balance in Acacia Senegal Plantations of Varying Age in Sudan. *Journal of Arid Environments*, **150**: 42-53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.12.004>.

Ankenbauer KJ, Loheide SP. 2016. The Effects of Soil Organic Matter on Soil Water Retention and Plant Water Use in a Meadow of the Sierra Nevada, CA. *Hydrological Processes*, **31**(4): 891-901. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.11070>

Awale R, Chatterjee A, Franzen D. 2013. Tillage and N-Fertilizer Influences on Selected Organic Carbon Fractions in North Dakota Silty Clay Soil. *Soil & Tillage Research*, **134**: 213-222. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.08.006>.

Aynekulu EV, Shepherd K, Winowiecki L. 2011. A Protocol for Measurement and Monitoring Soil Carbon Stocks in Agricultural Landscapes. World Agroforestry Centre (ICRAF), p. 52.

Barthès GB, Penche A, Hien E, Deleporte P, Dauphin CC, Cournac L, Manlay JR. 2015. Effect of Ramial Wood Amendment on Sorghum Production and Topsoil Quality in a Sudano-Sahelian Ecosystem (Central Burkina Faso). *Agroforest Syst.*, **89**: 81-93. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9743-0>.

Bationo BA, Kalinganire A, Bayala J. 2012. Potentialités des Ligneux dans la Pratique de l'Agriculture de Conservation dans les zones Arides et Semi-Arides de l'Afrique de l'Ouest : Aperçu de quelques systèmes candidats. World Agroforestry Center, p. 50.

Biancalani R, Nachtergaele F, Petri M, Bunning S. 2013. Land Degradation Assessment in Drylands. Methodology and Results. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p. 63.

Boffa JM. 2000. Les parcs agroforestiers en Afrique Subsaharienne. CIRAF/FAO, p. 258.

Bogie NA, Bayala R, Diedhiou I, Dick RP. 2018. Alteration of Soil Physical Properties and Processes after Ten Years of Intercropping With Native Shrubs in

- the Sahel. *Soil & Tillage Research*, **182**: 153–163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.05.010>
- Bonkougou EB., Djimdé M, Ayuk ET, Zoungrana I., Tchoundjeu Z, Niang A, N'Diaye SH, Mayaki A, Ouédraogo JS, Yossi H. 2002. L'agroforesterie, un outil Performant pour la Gestion des Ressources Naturelles et la lutte contre la Désertification au Sahel. Institut du Sahel, AGROSOC, Bamako, Mali, p. 88.
- Brauman A, Thoumazeau A. 2020. Biofunctool: Un Outil de Terrain pour Evaluer la Santé des Sols, basé sur la Mesure de Fonctions issues de l'Activité des Organismes du Sol, *Etude et Gestion des Sols*, **27**: 289-303. URL: <https://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/volume-27/>
- Bright MBH, Diedhiou I, Bayala R, Bogie N, Chapuis-Lardy L, Ghezzehei TA, Jourdan C, Sambou DM, Ndour BY, Cournac L, Dick RP. 2021. An Overlooked Resource: Shrub-Intercropping of Food Production, Drought Resistance and Ecosystem Restoration in the Sahel. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **319**: 107523. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107523>.
- Bright. MBH, Diedhiou I, Bayala R, Assigbetse K, Lardy LC, Ndour Y, Dick RP. 2017. Long-Term Piliostigma Reticulatum Intercropping in the Sahel: Crop Productivity, Carbon Sequestration, Nutrient Cycling, and Soil Quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **242**: 9-22. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.03.007>.
- Cai Y, Yan Y, Wang C, Xu D, Xin X, Chen J, Eldridge DJ. 2021. Effect of Shrubs on Soil Saturated Hydraulic Conductivity Depends on the Grazing Regime in a Semi-Arid Shrub-Encroached Grassland. *Catena*, **207**: 105680. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105680>.
- Clara L, Fatma R, Viridiana A, Liesl W. 2017. Carbone Organique du Sol: Une Richesse Invisible. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome, p. 90.
- Coulibaly YN, Bayala J, Gaiser T, Zombré G, 2020. Assessing Tree Effect on Total Soil Carbone in Agroforestry Parklands Systems along a Rainfall Gradient in Burkina Faso (West Africa). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **14**(9): 3030-3046. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i9.6>
- Culman SW, Snapp SS, Freeman MA, Schipanski ME, Beniston J, Lal R, Wander MM. 2012. Permanganate Oxidizable Carbon Reflects a Processed Soil Fraction that is Sensitive to Management. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **76**(2): 494-504. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssai20n.0286>.
- Das S, Richards BK, Hanley KL, Krounbi L, Walter MF, Walter MT, Lehmann J. 2018. Lower Mineralizability of Soil Carbon With Higher Legacy Soil Moisture. *SBB.*, **130**: 94-104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.12.006>.
- Dayamba SD, Djoudi H, Zida M, Sawadogo L, Verchot L. 2015. Biodiversity And Carbon Stocks in Different Land Use Types in the Sudanian Zone of Burkina Faso, West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **216**: 61-72. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.023>.
- Dossa EL, Diedhiou S, Compton JE, Assigbetse KB, Dick. RP. 2010. Spatial patterns of P fractions and Chemical Properties in Soils of two Native Shrub Communities in Senegal. *Plant Soil*, **327**: 185-198. DOI: doi.org/10.1007/s11104-009-0044-8.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO),

- Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS), 2015. Status of the World's soil Resources. Main report. International Year of Soils, p. 650.
- FAO, 2021. L'État des Ressources En Terres et en eau pour L'alimentation et L'agriculture dans le Monde. Des Systèmes au Bord de la Rupture. Rapport de synthèse, Rome, p. 93.
- Guébré D. 2021. Effet des amendements ligneux à base de *Piliostigma reticulatum* (D.C.) Hochst. sur les Fonctions et Services Ecosystémiques des Sols en Zone Soudano-Sahélienne du Burkina Faso. Thèse de doctorat, Université Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso, p. 170.
- Institut de l'Environnement et des Recherches Agricoles (INERA). 1995. Etude des Zones d'Implantation des Stations Agricoles. Ouagadougou: INERA, p. 231.
- Kizito F, Sène M, Dragila MI, Lufafa A, Diedhiou I, Dossa E, Cuenca R, Selker J, Dick RP. 2007. Soil Water Balance of Annual Crop–Native Shrub Systems in Senegal's Peanut Basin: The missing link. *Agriculture Water Management*, **90**(1-2): 137-148. DOI: 10.1016/j.agwat.2007.02.015.
- Koala J, Kagambega OR, Sanou L. 2021. Distribution des Stocks de Carbone du Sol et de la Biomasse Racinaire dans un Parc Agroforestier à *Prosopis africana* (Guill., et Rich.) Taub au Burkina Faso, Afrique de l'Ouest. *J. Appl. Biosci.*, **160**: 16482–16494. DOI: <https://doi.org/10.35759/JABs.160.5>.
- Koull N, Halilat MT. 2016. Effets de la Matière Organique sur les Propriétés Physiques et Chimiques des Sols Sableux de la Région d'Ouargla (Algérie). *Etude et Gestion des Sols*, **23**(1): 9-20. URL: <https://www.afes.fr/publications/revue-et-gestion-des-sols/volume-27/>.
- Li Z, Zhao B, Zhang J. 2016. Effects of Maize Residue Quality and Soil Water Content on Soil Labile Organic Carbon Fractions and Microbial Properties. *Pedosphere*, **26**(6), 829–838. DOI: 10.1016/S1002-0160(15)60088-1.
- Liang Q, Wang C, Zhang K, Shi S, Guo J, Gao F, Liu J, Wang J, Liu Y. 2021. The Influence of Tree Species on Soil Organic Carbon Stability under Three Temperate Forests in the Baihua Mountain Reserve, China. *GECCO.*, Volume **26**: e01454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01454>.
- Liu Y, Cui Z, Huang Z, López-Vicente M, Wu G.-L. 2019. Influence of Soil Moisture and Plant Roots on the Soil Infiltration Capacity at Different Stages in Arid Grasslands Of China. *Catena*, **182**: 104-147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104147>.
- Lucas ST, Weil RR. 2012. Can a labile Carbon test be used to predict Crop responses to improved Soil Organic Matter Management? *Agronomy Journal*, **104** (4): 1160-1166. DOI: [doi:10.2134/agronj2011.0415](https://doi.org/10.2134/agronj2011.0415).
- Lufafa A, Diédhiou I, Samba SAN, Séné M, Khouma M, Kizito F, Dick RP, Dossa E, Noller JS. 2008. Carbon Stocks and Patterns in Native Shrub Communities of Senegal's Peanut Basin. *Geoderma*, **146**: 75-82. DOI: [doi:10.1016/j.geoderma.2008.05.024](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.05.024)
- Miles RJ, Brown JR. 2011. The Sanborn Field Experiment, Implications for Long-Term Soil Organic Carbon Levels. *Agronomy Journal*, **103**: 268-278. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0221s>.
- Richards LA. 1956. Sample Retainers for Measuring Water Retention by Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **20**: 301-303. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1956.03615995002000030001x>.
- Roose E, Barthes B. 2001. Organic Matter Management for Soil Conservation and Productivity Restoration in Africa: A

- Contribution from Francophone Research. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **61**: 159–170. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1013349731671>
- Saidou A, Balogoun I, Koné B, Gnanglè CP, Aho N, 2012. Effet d'un Système Agroforestier à Karité (*Vitellaria paradoxa* c.f. gaertn) sur le Sol et le Potentiel de Production du Maïs (*Zea mays*) en zone Soudanienne du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(5): 2066-2082 DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i5.16>.
- Sharma V, Hussain S, Sharma KR, Arya V.M. 2014. Labile Carbon Pools and Soil Organic Carbon Stocks in the Foothill Himalayas Under Different Land Use Systems. *Geoderma*, **232**: 81-87. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.039>.
- Tobella AB, Reese H, Almar A, Bayala J, Malmer A, Laudron H, Ilstedt U. 2014. The Effect of Trees on Preferential Flow and Soil Infiltrability in an Agroforestry Parkland in Semiarid Burkina Faso. *Water Resources Research*, **50**(4): 3343-3354. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/2013WR015197>.
- Walkley A, Black IA. 1934. An Examination Method of the Detjareff and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Sci.*, **37**(1): 29-38. URL: https://journals.lww.com/soilsci/citation/1934/01000/an_examination_of_the_detjareff_method_for.3
- Wang F, Weil RR, Nan X. 2017. Total And Permanganate-Oxidizable Organic Carbon in the Corn Rooting Zone of US Coastal Plain soils as affected by Forage Radish Cover Crops and N Fertilizer. *Soil and Tillage Research*, **165**: 247-257. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2016.08.022>.
- Weil RR, Kandikar, RI, Stine AS, Gruver JB, Samson-Liebig SE. 2003. Estimating Active Carbon for Soil Quality Assessment: A Simplified Method for Laboratory and Field Use. *AJAA.*, **1**(18): 3-17. DOI: 10.1079/AJAA200228.
- World reference base for soil resources (WRB). 2014. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. Food and Agriculture organization of United Nations, Rome, p. 203.
- Yélémo B, Dayamba SD, Bambara D, Yaméogo G, Assimi S. 2013. Soil Carbon and Nitrogen Dynamics Linked to Piliostigma Species In Ferugino-Tropical Soils in the Sudano-Sahelian Zone Of Burkina Faso, West Africa. *Journal of Forestry Research*, **24**(1): 99-108. DOI 10.1007/s11676-013-0329-x.
- Yélémo B, Yaméogo G, Bationo BA, Millogo RJ, Hien V, 2012. Les Formations A Piliostigma en Zone Sahélo-Soudanienne du Burkina Faso: Etat des Peuplements, Dynamique de la Régénération Sexuée et Pression Anthropique. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(5): 2083-2096. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i5.17>.
- Zougmore R, Jalloh A, Tioro A. 2014. Climate-Smart Soil Water and Nutrient Management Options in Semiarid West Africa: A Review of Evidence and Analysis of Stone Bundsand Zaï Techniques. *Agriculture & Food Security*, **3**: 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1186/2048-7010-3-16>